

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **2 476 387** (13) C2ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[C03B 5/225 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 27.05.2016)

(21)(22) Заявка: [2011120572/03](#), 20.05.2011(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.05.2011

(43) Дата публикации заявки: 27.11.2012 Бюл. №
33(45) Опубликовано: [27.02.2013](#) Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Панкова Н.А., Живило И.Г. **Возможность интенсификации процессов осветления стекломассы с помощью ультразвука / Сб. научн. трудов "Исследование по рациональному использованию сырьевых и топливно-энергетических ресурсов в стекольной промышленности. - М.: 1984, с.62-76. RU 2128149 C1, 27.03.1999. SU 1571856 A1, 27.02.1995. SU 1414873 A1, 07.08.1988. US 20090255298 A1, 15.10.2009.**

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул.Мира, 19, УрФУ,
центр интеллектуальной собственности,
Т.В. Марк

(72) Автор(ы):

Лисиенко Владимир Георгиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина" (RU)

(54) ВОЛНОВОД ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ СТЕКЛОМАССЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области стекловарения, в частности к стекловаренным печам. Волновод для осветления стекломассы, включающий погруженный в расплав стекломассы цилиндрический корпус волновода с закрытым торцом, снабжен газоструйным акустическим излучателем, трубопроводом для подачи и отвода рабочего газа, встроенной внутри корпуса волновода цилиндрической перфорированной отверстиями цилиндрической трубой с закрытым торцом. Оси отверстий перфорации перпендикулярны внутренней поверхности корпуса волновода. Зазор между внутренней поверхностью корпуса волновода и наружной поверхностью перфорированной трубы составляет величину $h=6d_0$, где d_0 - диаметр отверстий

перфорированной трубы. Технический результат изобретения - обеспечение интенсификации удаления газовых пузырей из объема стекломассы в зоне осветления, что приводит к увеличению производительности стекловаренных печей при увеличении ресурса работы волновода в высокотемпературной среде стекломассы. 1 ил.

Изобретение относится к области стекловарения, в частности к стекловаренным печам.

Известны методы осветления, т.е. удаления пузырьков газа из стекломассы в стекловаренных печах [1, 2].

К ним относится выдержка при высокой температуре, введение поверхностных активных веществ. Однако эти методы требуют повышения температуры в зоне осветления и длительного времени процесса.

Известна также интенсификация процесса осветления с помощью ультразвуковых волноводов [2]. Установлено, что введение волноводов, оборудованных ультразвуковыми излучателями, в расплав стекломассы даже без увеличения температуры позволяет обеспечивать коагуляцию пузырьков газа, что способствует более полному осветлению стекломассы.

Однако недостатком этого волновода является недостаточная мощность ультразвуковых излучателей и большие расходы электроэнергии на генерацию ультразвуковых колебаний. Кроме того, как установлено [2], оптимальная частота акустических колебаний для агрегации мелких пузырей в стекломассе соответствует сравнительно низким частотам - в диапазоне 3-20 кГц, что не соответствует оптимальному режиму работы ультразвуковых излучателей.

Таким образом, известны ультразвуковые волноводы для осветления стекломассы, оборудованные ультразвуковыми акустическими излучателями, погружаемые в объем стекломассы [2]. Однако недостатком этих волноводов является их акустическое излучение в неоптимальном для агрегации пузырьков газа диапазоне частот, а также недостаточная акустическая мощность и большой расход электроэнергии на генерацию акустических колебаний.

Кроме того, стойкость волновода в объеме стекломассы с температурой 1200°C при отсутствии принудительного охлаждения является недостаточной.

Технической задачей предлагаемого устройства является обеспечение эффективной агрегации и коагуляции пузырьков газа в стекломассе с целью интенсификации процесса их удаления.

Эта задача решается тем, что волновод для осветления стекломассы, включающий погруженный в расплав стекломассы цилиндрический корпус волновода с закрытым торцом, отличается тем, что он снабжен газоструйным акустическим излучателем, трубопроводами для подачи и отвода рабочего газа, встроенной внутри корпуса волновода цилиндрической перфорированной отверстиями цилиндрической трубой с закрытым торцом, причем оси отверстий перфорации перпендикулярны внутренней поверхности корпуса волновода, при этом зазор между внутренней поверхностью корпуса волновода и наружной поверхностью перфорированной трубы составляет величину $h=6d_0$, где d_0 - диаметр отверстия перфорированной трубы.

Таким образом, рабочий газ данного волновода - компрессорный воздух - озвучивается (подвергается воздействию акустического поля) в газоструйном акустическом излучателе, несущие частоты которого как раз и находятся в диапазоне частот, оптимальных для агрегации и коагуляции пузырьков газа стекломассы (100-4000 Гц) [3].

Подача озвученного газа через отверстия в перфорированной трубе обеспечивает двойную функцию: 1) передачу акустического излучения от озвученного газа к наружной стенке волновода и далее в объем стекломассы и 2) интенсивное охлаждение наружной стенки волновода. Струйное охлаждение стенки волновода при скорости атакующих поверхностей струй рабочего газа 100-150 м/с обеспечивает охлаждение наружной стенки и высокий ресурс службы волновода в высокотемпературном объеме расплавленной стекломассы.

Диаметр d_0 и количество отверстий N перфорированного внутреннего цилиндра определяется расходом рабочего газа и указанной требуемой скоростью истекающего из отверстий рабочего газа в пределах 100-150 м/с, при этом отверстия по возможности равномерно распределяются по поверхности перфорированной трубы [4].

Для наиболее эффективного охлаждения стенки корпуса волновода расстояние (зазор) между внутренней поверхностью корпуса волновода и наружной поверхностью перфорированной трубы должно составлять величину $h_b=6d_0$ [4].

Мощность акустического излучения, генерируемого газоструйными излучателями, составляет $0,1-0,15 \text{ кВт/м}^2 = 100-150 \text{ Вт/м}^2$ [4], что почти на 5 порядков больше отмеченной в работе [3] мощности акустического излучения генераторов ультразвуковых акустических колебаний, и это гарантированно обеспечивает коагуляцию газовых пузырей в стекломассе и их ускоренное удаление. При этом коэффициент отражения акустического излучения на границе «сталь-стекло» составляет около 30%, а поглощение звука в тонкой стальной стенке корпуса волновода не превысит 3-5% [5], т.е. мощность акустических колебаний в объеме стекломассы вполне достаточна для интенсивной коагуляции газовых пузырей.

При движении рабочего газа - компрессорного воздуха - внутри волновода за счет теплообмена с расплавленной стекломассой через наружную стенку волновода этот компрессорный воздух нагревается. Его физическая теплота используется при его подаче в трубопровод вентиляционного воздуха, подаваемого к горелкам стекловаренной печи.

Предлагаемый волновод для осветления стекломассы реализуется устройством, представленным на фиг.1.

На фиг.1 представлен свод рабочего пространства зоны осветления стекловаренной печи 1 и стеклорасплав 2.

Устройство содержит газоструйный акустический излучатель с рефлектором 3, газоподводящий трубопровод с соплом 4, резонатор 5, цилиндрическую подводящую перфорированную трубу для ввода озвученного газа с закрытым торцом 7, цилиндрический корпус волновода с закрытым торцом 8, отводящие рабочий газ трубопроводы 9, показан ввод 10 и вывод 11 рабочего газа.

Устройство работает следующим образом. Рабочий газ газоструйного акустического излучателя - компрессорный воздух 10 - через газоподводящий трубопровод и сопло 4 акустического излучателя 3 подается в резонатор 5. В резонаторе 5 формируется акустическое поле, накладываемое на рабочий газ и направляемое с использованием рефлектора внутрь перфорированной трубы 6.

Озвученный газ через отверстия в перфорированной трубе 7 подается на внутреннюю поверхность корпуса волновода 8, вызывая охлаждающий эффект на поверхности корпуса. Звуковое поле через стенку корпуса волновода 8 подается в объем стеклорасплава 2, обеспечивая ускоренное агрегатирование и коагуляцию пузырьков газа в стекломассе и интенсификацию их удаления. Нагретый рабочий газ 11 через трубопроводы 9 отводится из волновода и поступает в трубопровод вентиляционного воздуха, подаваемого к горелкам стекловаренной печи (на фиг.1 не показан).

Базовая частота f акустического поля формируется заданием глубины резонатора 5 и в соответствии с уравнением [3]

$$f = \frac{B_0}{h^n}, \quad (1)$$

где $B_0=43300-43400$ - коэффициент пропорциональности; $n=0,8-0,9$.

Так при задании базовой частоты $f=2000$ Гц в соответствии с уравнением (1) при $B_0=43350$ и $n=0,85$

$$h = \left(\frac{43350}{2000} \right)^{\frac{1}{0,85}} = 37,2 \text{ мм}$$

Применение волновода данной конструкции обеспечивает интенсификацию удаления газовых пузырей из объема стекломассы в зоне осветления, что приводит к увеличению производительности стекловаренных печей. Организация струйной подачи рабочего газа на стенку наружной трубы волновода обеспечивает увеличение ресурса работы волновода в высокотемпературной среде стекломассы. Организация подачи отработанного нагретого рабочего газа в трубопровод вентиляционного воздуха для его использования в горелках стекловаренной печи приводит к экономии расхода топлива на горелках.

Пример реализации и расчета (см. фиг.1)

Определим основные параметры волновода для рабочего газа - компрессорного воздуха [6].

Из конструктивных соображений наружный диаметр корпуса волновода принят равным $D_{\text{нар}}=150 \text{ мм}=0,15 \text{ м}$.

Толщину стенки корпуса волновода принимаем равной $\delta=3 \text{ мм}=0,003 \text{ м}$, тогда внутренний диаметр корпуса волновода $D_{\text{вн}}=144 \text{ мм}=0,144 \text{ м}$.

Принимаем плотность перфорации подводящей перфорированной трубы $N=500$ отв./м², скорость истечения $w_b=150$ м/с. Открытая площадь перфорации $f_n=0,25\%$.

Принимаем расход рабочего газа на волновод $G_r=500$ м³/ч=0,1389 м³/с, давление 0,3-0,4 МПа (3-4 ата).

Температура стекломассы $t_{нар}=1200^\circ\text{C}$, температура подаваемого воздуха к перфорированной стенке $t_{вн}=40^\circ\text{C}$.

Температурный параметр струйного охладителя [6]

$$\theta_s = \left[E + \frac{A + Re^{1,33-D}}{B + C Re^{1,4}} Re^{0,44+0,4D} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где $\theta_s = (t_b - t_{вн}) / (t_{ст} - t_{вн})$; (3)

$Re = \frac{w_b d_0}{\nu}$, w - скорость истечения струй, м/с; d_0 - эффективный диаметр

отверстий перфорации, м; ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с; D, A, B, C, E - коэффициенты; $D = D = 2\sqrt{f_n}$; $A=3650-1370 D^2/(1-2,2D)^2$; $B=10^4 (0,6-0,25D)/D^2$;

$C=10^{-2} (25,4-54D)/D^2$; $E=1+1,35D^{0,6}$; температуры: t_b - воздуха на выходе из волновода, $t_{ст}$ - стенки корпуса волновода; $t_{вн}$ - воздуха, подаваемого к перфорированной трубе, °C.

Суммарная площадь проходного сечения отверстий перфорации

$$F_{от} = (1 + \beta t'_b) V_b / w_b = \left(1 + \frac{40}{273} \right) \cdot 0,1389 / 150 = 1,0617 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Эффективный диаметр отверстий [6]

$$d_0 = \sqrt{4f_n / \pi N} = \sqrt{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} / \pi \cdot 500} = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,52 \text{ мм}.$$

Действительный диаметр ($\epsilon_{сж}=0,78$ - коэффициент сжатия)

$$d_{отв} = \frac{d_0}{\epsilon_{сж}} = \frac{2,52}{0,78} = 3,23 \text{ мм}$$

Площадь поверхности теплообмена

$$F = \frac{F_{от}}{f_n} = \frac{1,061 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,4244 \text{ мм}^2$$

Поверхность теплообмена равна

$$F = \pi D \cdot L. \quad (4)$$

Внутренний диаметр корпуса волновода $D_{вн}=144$ мм.

Расстояние от внутренней поверхности перфорированной трубы до внутреннего диаметра корпуса волновода

$$h_b = 6d_0 = 6 \cdot 2,52 \approx 15 \text{ мм}.$$

Тогда диаметр перфорированной трубы D_n

$$D_n = D_{вн} - 2h = 144 - 30 = 114 \text{ мм}.$$

Требуемая длина рабочей части перфорированной трубы в соответствии с формулой (4)

$$L = \frac{F}{\pi D_n} = \frac{0,4244}{0,114 \cdot 3,14} = 1,186 \text{ м}$$

При температуре воздуха $t=40^\circ\text{C}$ коэффициент кинематической вязкости $\nu=17,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с [9].

Тогда критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{w d_0}{\nu} = \frac{150 \cdot 2,52 \cdot 10^{-3}}{17,3 \cdot 10^{-6}} = 21850$$

Величины:

$$D = 2\sqrt{2,5 \cdot 10^{-3}} = 0,1;$$

$$A = 3650 - 1370 \cdot 0,1^2 / (1 - 2,2 \cdot 0,1)^2 = 5976;$$

$$B = 10^4 (0,6 - 0,25 \cdot 0,1) / 0,1^3 = 5,75 \cdot 10^6;$$

$$C = 10^{-2} (25,4 - 54D) D^2 = 20; E = 1 + 1,35 \cdot 0,1^{0,6} = 1,34.$$

По формуле (2)

$$\theta_{\text{в}} = \left[1,34 + \frac{5976 + 21850}{5,75 \cdot 10^6 + 20 \cdot 21850^{1,4}} 21850^{0,48} \right]^{-1} = 0,4433$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией от воздушных струй к внутренней стенке корпуса волновода

$$\alpha'_{\text{вн}} = C_p q_{\text{в}} \theta_{\text{в}} = 1330 \cdot 0,375 \frac{273}{273 + 40} \cdot 0,4433 = 192 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Здесь $q_{\text{в}}$ - плотность расхода воздуха:

$q_{\text{в}} = w_{\text{в}} f_{\text{п}} = 150 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,375 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; величина теплоемкости воздуха C_p в диапазоне 40-400°C $C_p = 1,33 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ [9].

Для расчетов с учетом влияния акустических колебаний на усиление теплоотдачи принимаем величину $\alpha_{\text{вн}} = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Коэффициент теплоотдачи от расплавленной стекломассы к поверхности корпуса волновода при температуре стекломассы 1200°C принимаем равным $\alpha_{\text{нар}} = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [8, с.255, рис.87].

Число отверстий на перфорированной трубе

$$M = N f = 500 \cdot 0,4244 = 212,2 = 212 \text{ отверстий.}$$

При диаметре перфорированной трубы $D_{\text{п}} = 0,114 \text{ м}$ периметр окружности перфорированной трубы

$$L_{\text{ок}} = \pi D_{\text{п}} = 3,14 \cdot 0,114 = 0,358 \text{ м.}$$

Длина перфорированной трубы $L = 1,186 \text{ м}$.

$$\text{Отношение } \frac{L_{\text{ок}}}{L} = \frac{0,358}{1,186} = 0,3018$$

При этом число отверстий в ряду по периметру перфорированной трубы составляет 7,99, принимаем $n_{\text{п}} = 8$, по длине цилиндра число рядов составит 26,5, принимаем $n_{\text{q}} = 26$.

Шаги между отверстиями по периметру перфорированной трубы

$$Z = \frac{\pi D_{\text{п}}}{n_{\text{п}}} = \frac{3,14 \cdot 0,114}{8} = 0,0447 \text{ м} = 44,7 \text{ мм}$$

Шаги между рядами по длине перфорированной трубы при расстоянии от оснований цилиндра 10 мм

$$\beta = \frac{L - 0,02}{n_{\text{q}}} = \frac{1,186 - 0,02}{26} = 0,0448 \text{ м} = 44,8 \text{ мм}$$

При $D_{\text{нар}} = 150 \text{ мм}$ и толщине стенки корпуса волновода $\delta = 3 \text{ мм} = 0,003 \text{ м}$ внутренний диаметр стенки $D_{\text{вн}} = 144 \text{ мм}$.

При отношении $\frac{D_{\text{нар}}}{D_{\text{вн}}} = \frac{150}{144} = 1,042 < 2$ можно для цилиндрической стенки

перфорированной трубы при определении теплоотдачи использовать формулы для плоской стенки [9].

Для жаростойкой стали при температуре стенки 800-900°C величина теплопроводности $\lambda = 26,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Тогда отношение $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,003}{26,7} = 0,00011 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$, что много меньше внешнего и

внутреннего теплового сопротивления [7, 9]

$$R_{\text{нар}} = \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} = \frac{1}{500} = 0,002 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \text{ и } R_{\text{вн}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} = \frac{1}{200} = 0,005 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

При этом для определения температуры стенки - корпуса волновода используем формулу [9]

$$t_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{нар}} \alpha_{\text{нар}} + t_{\text{вн}} \alpha_{\text{вн}}}{\alpha_{\text{нар}} + \alpha_{\text{вн}}} \quad (4)$$

$$t_{\text{ст}} = \frac{1200 \cdot 500 + 40 \cdot 200}{500 + 200} = 868,6^\circ \text{C}$$

Из формулы (3) получаем температуру воздуха на выходе из волновода

$$t_b = t_{bh} + \theta_b(t_{ct} - t_{bh}) = 40 + 0,4433(868,6 - 40) = 407,3^\circ\text{C}.$$

Отходящий из волновода воздух с температурой $t_b = 407,3^\circ\text{C}$ направляется для подмешивания к вентиляторному воздуху, подаваемому на горелки стекловаренной печи.

Определим основные параметры газоструйного акустического излучателя (см. фиг.1).

При давлении компрессорного воздуха $P_T = 0,4$ МПа, его расходе $G = 500$ м³/ч = 0,1389 м³/с и температуре $T_T = 200^\circ\text{C} = 293$ К площадь выходного сечения сопла газоструйного акустического излучателя определим по формуле [8]

$$\omega_c = \frac{G \sqrt{T_T}}{\eta_c \cdot K_T \cdot P_T}, \quad (5)$$

где η_c - коэффициент потерь давления; $\eta_c = 0,8-0,85$;

K_T - коэффициент, равный для компрессорного воздуха $K_T = 0,0404$ (К^{0,5}·с)/м.

Тогда

$$\omega_c = \frac{0,1389 \sqrt{293}}{0,8 \cdot 0,0404 \cdot 0,4} = 183,9 \text{ мм}^2$$

Диаметр сопла

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 183,9}{\pi}} = 15,3 \text{ мм}$$

Диаметр резонатора излучателя [3]

$$d_p = 1,5 d_c = 1,5 \cdot 15,3 = 23,4 \text{ мм}.$$

Расстояние от выходного сечения сопла акустического излучателя до входа в резонатор при радиусе отражателя $R_p = 20$ мм.

$$l_p = \sqrt{\frac{R_p(d_p - d_c)}{2,6}} = \sqrt{\frac{20(23,4 - 15,3)}{2,6}} = 7,89 \approx 8 \text{ мм}$$

Таким образом, все основные параметры акустического излучателя определены.

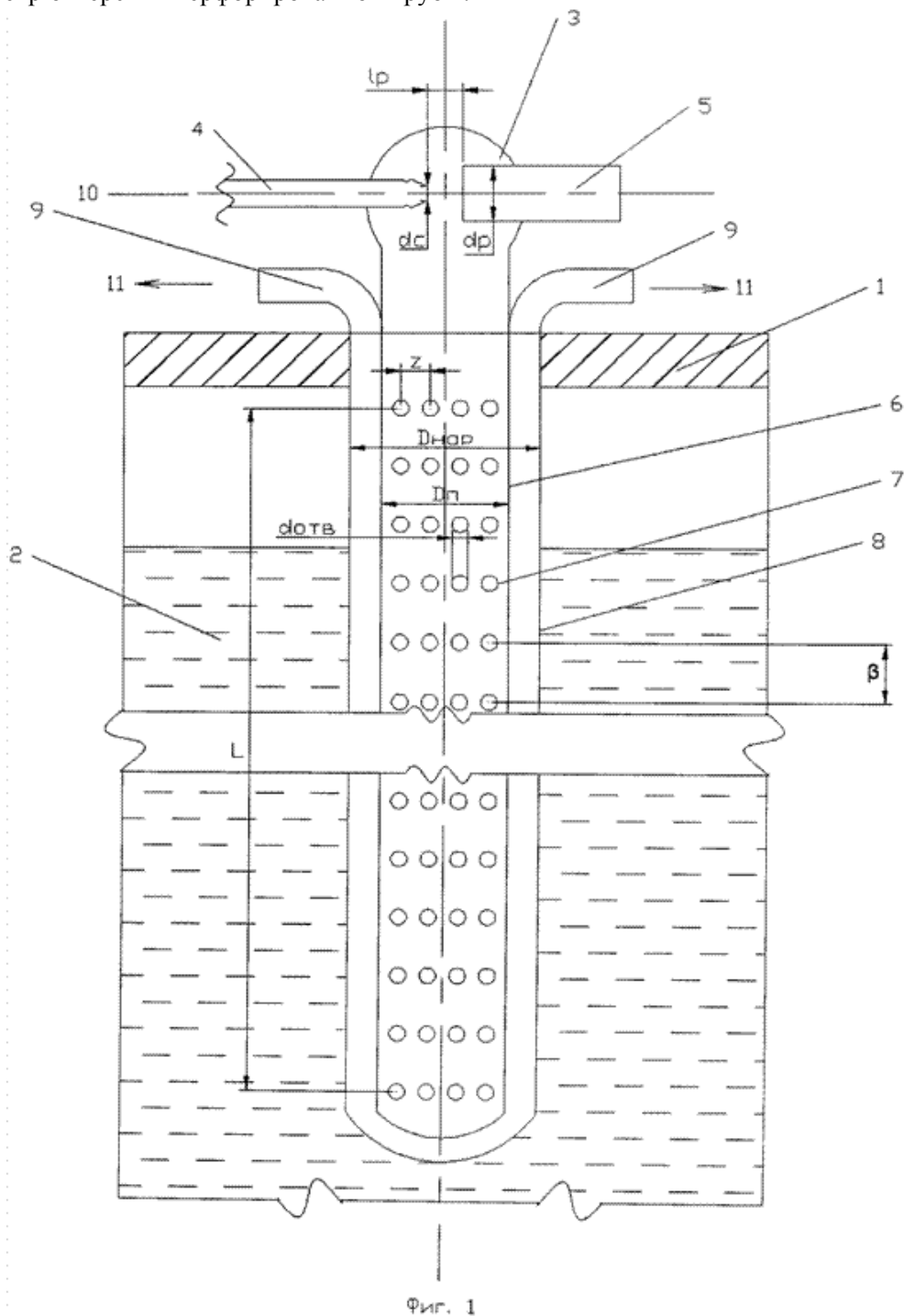
Источники информации

1. Панкова Н.А. Возможные пути интенсификации процессов осветления и рациональной его организации в печах новой конструкции. Научные труды ГИС. - М, 1968, №1. С.45-51.
2. Панкова Н.А., Живило И.Г. Возможность интенсификации процессов осветления стекломассы с помощью ультразвука / Сб. научн. трудов «Исследование по рациональному использованию сырьевых и топливно-энергетических ресурсов в стекольной промышленности. М., 1984. - С.62-76.
3. Воронов Г.В., Кокарев Н.И., Лисиенко В.Г. и др. Газоструйный излучатель. Патент на изобретение РФ №1571856, Оpubл. 27.02.1995.
4. Бажанов Л.Н., Стрижов Г.Ф., Вихляев Н.А. и др. Способ кислородно-факельной плавки. Патент на изобретение РФ №1414873, Бюл. №29, 07.08.1988.
5. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. - М.: Наука, 1988. - 208 с.
6. Гордон Я.М., Зобнин Б.Ф., Казяев М.Д. и др. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Учебник для вузов / Под ред. А.С.Телегина. - М.: Металлургия, 1993. - 368 с.
7. Кривандин В.А., Арутюнов В.А., Матрюков Б.С. и др. Металлургическая теплотехника. В 2-х томах. Т.1. Теоретические основы. Учебник для вузов / Под ред. В.А.Кривандина. - М.: Металлургия, 1986. - 424 с.
8. Китаев Б.И., Зобнин Б.Ф., Раников В.Ф. и др. Теплотехнические расчеты металлургических печей. Учебное пособие / Под ред. А.С.Телегина. - М.: Металлургия, 1970. - 528 с.
9. Матрюков Б.С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т.2. Расчеты металлургических печей. - М.: Металлургия, 1978. - 272 с.

Формула изобретения

Волновод для осветления стекломассы, включающий погруженный в расплав стекломассы цилиндрический корпус волновода с закрытым торцом, отличающийся тем, что он снабжен газоструйным акустическим излучателем, трубопроводами для подачи и отвода рабочего газа, встроенной внутри корпуса волновода перфорированной отверстиями цилиндрической трубой с закрытым торцом, причем

оси отверстий перфорации перпендикулярны внутренней поверхности корпуса волновода, при этом зазор между внутренней поверхностью корпуса волновода и наружной поверхностью перфорированной трубы составляет величину $h=6d_0$, где d_0 - диаметр отверстия перфорированной трубы.



ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **21.05.2013**

Дата публикации: [20.04.2014](#)

